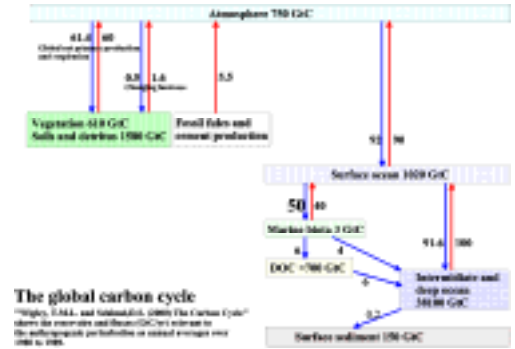


# 地球温暖化対策 -CO2海中隔離技術-

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
環境システム学専攻  
佐藤 徹

## 1 はじめに

地球上の炭素循環 (単位GtC)



## 排出量と吸収量のバランス

- 温室効果ガス濃度安定化のためには、排出量を、今後自然吸収量と同等まで減らさねばならない
- 現在の排出量は自然吸収量の約2倍にも達している



人為的排出量  
63億炭素トン/年  
(年1.5~2ppm増)

危険なレベル2℃ 450~500ppm

現在 380ppm

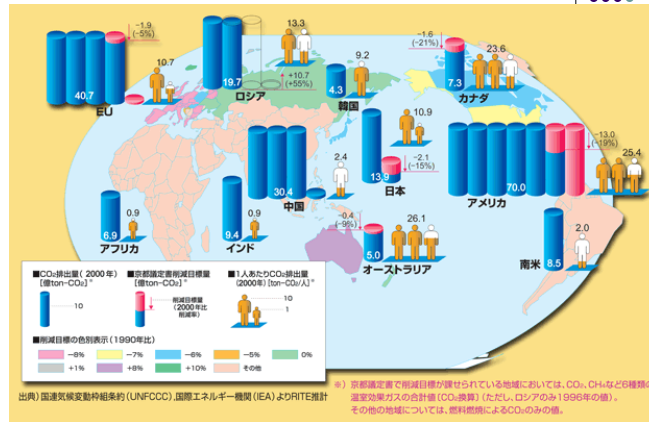
自然の温度 280ppm

工業化

危険なレベルにならないようにどう栓を締めてゆくか

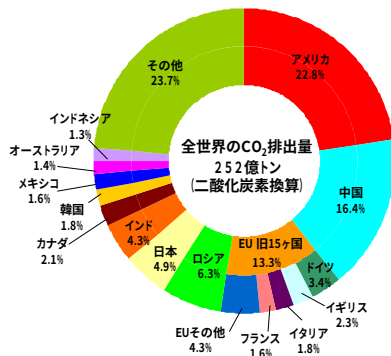
自然の吸収量  
31億炭素トン/年

(IPCC第3次評価報告書(2001)より  
国立環境研究所・環境省作成)



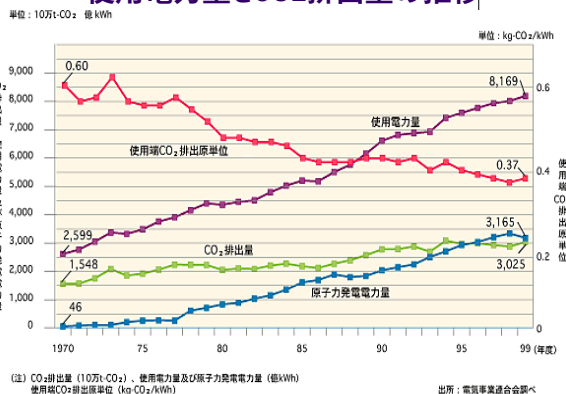
RITE ホームページより

## 世界各國の二酸化炭素排出量 (2003年)



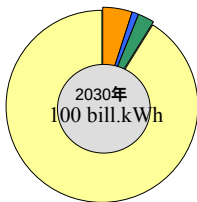
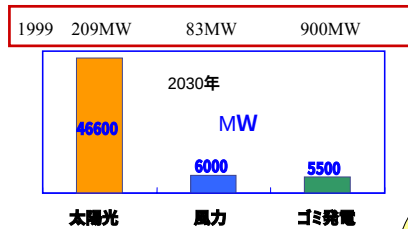
- 米国は世界の約4分の1を排出。
- 中国、インド等の途上国もかなりの排出量であり、急激な経済成長に伴う増加も懸念されている。

## 使用電力量とCO2排出量の推移

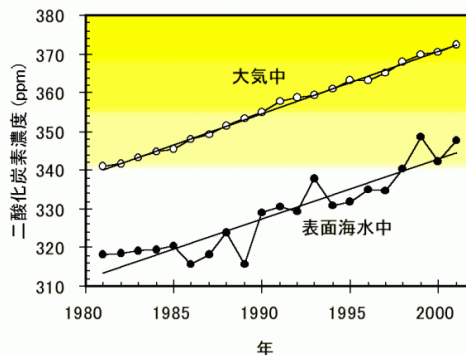
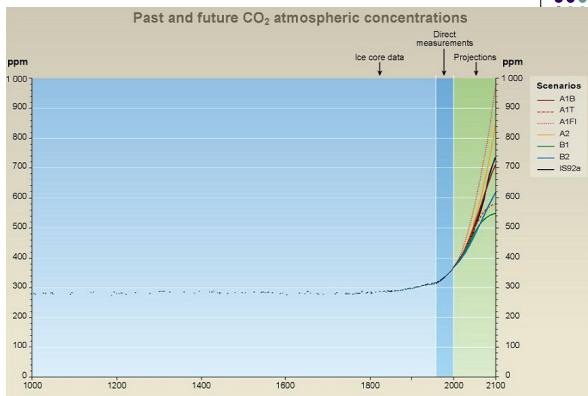
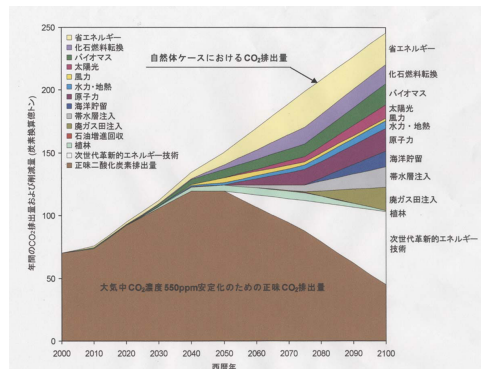


出所: 電気事業連合会調べ

## 自然エネルギーの可能性



## エネルギー需要とCO2排出予想 (RITE)



気象庁は冬季の東経137度線に沿った二酸化炭素の観測を、1981年から実施している。図3-12は1～2月の東経137度線に沿った洋上大気及び表面海水中の二酸化炭素濃度（北緯3度～30度の平均値）の経年変化である。この海域では、冬季は表面海水中の二酸化炭素濃度が洋上大気中の濃度より低く、海洋が大気中の二酸化炭素を吸収していることを示している。

図:2100年に予測される炭酸カルシウムの溶解度

IPCC IS92a (2100年に740ppm) のシナリオに基づいて計算した結果、2100年に予測される炭酸カルシウムの溶けやすさを、炭酸イオン濃度の予想値と、アラゴナイト飽和状態における炭酸イオン濃度の差(カラー)で表したものを(Nature, 9月29日号より)。単位は海水1キログラム当りの炭酸カルシウムイオンのマイクロモル。値が負の海域でアラゴナイトは未飽和となり溶解する。南極海全体と北太平洋亜寒帯域で溶ける状態になることが分かる。

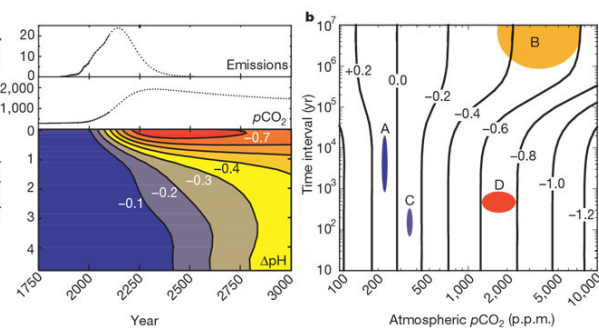
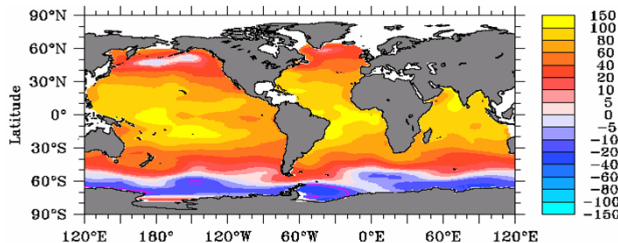
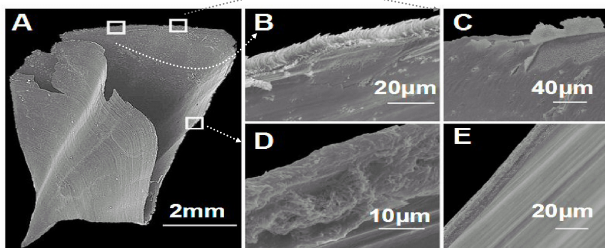
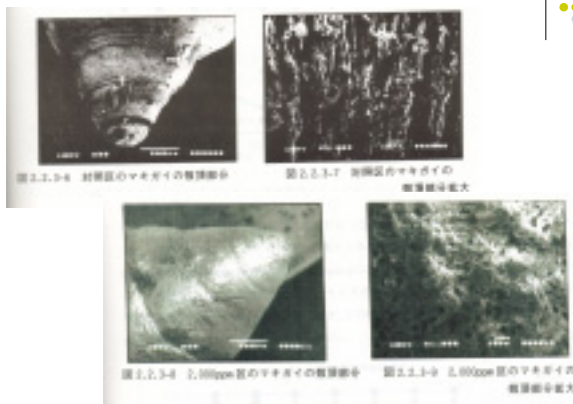


図: ウキピシガイを48時間、酸性化した海水環境下においたときの様子

翼足類カメガイ科の種であるウキピシガイ(*Clio pyramidata*)を48時間、酸性化した海水環境下においたときの様子( Nature: 9月29日号より一部改)。A: 外殻全体(3つの白く囲われた箇所はB~Dを示す)。B~D: 殻の溶解を示す拡大図(それぞれは、B: 表面の結晶がささくれだった状態、C: それらがめくりあがった状態、D: 溶解がすすんだ状態を示す)。E: 酸性化しない通常の環境にいるときの殻の結晶構造。

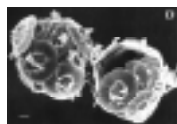


## 表層生物へのCO<sub>2</sub>暴露実験



Today's world  
pCO<sub>2</sub>: 280-380 ppmV

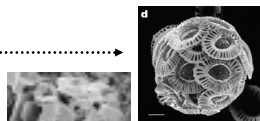
High-CO<sub>2</sub> world  
pCO<sub>2</sub>: 580-720 ppmV



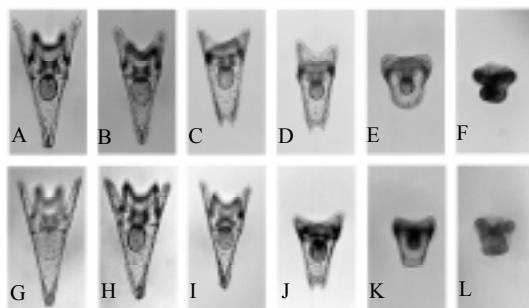
*Gephyrocapsa oceanica*



*Calcidiscus leptoporus*

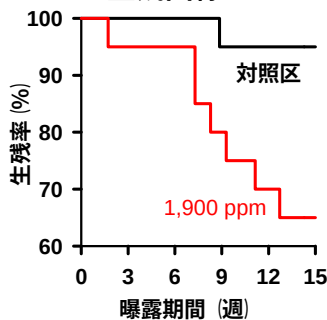


## Morphology of sea urchin larvae in high CO<sub>2</sub> sea water



## 結果

### 生残曲線



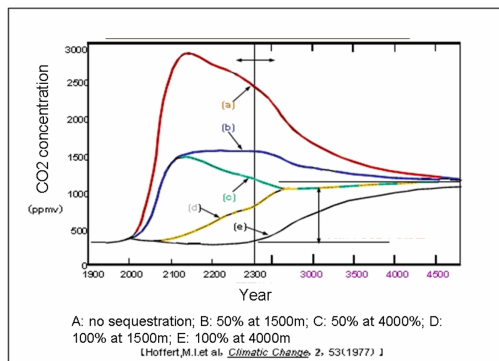
### 脱皮間隔 (日)

対照区 7.67 ± 1.28

実験区 9.44 ± 2.69



## 海洋隔離のベネフィット ピークシェービング

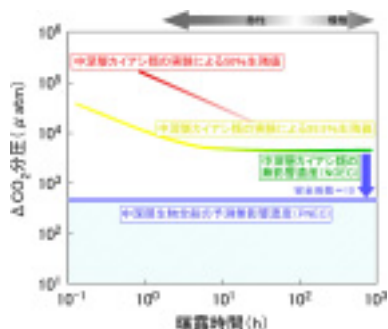




- 
- CO<sub>2</sub> 海洋隔離の方式
- 工場方式
- パイプライン方式
- 船舶方式
- 船舶貯蔵方式
- 1,000m
- 2,000m
- 3,000m
- 4,000m
- 埋込 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> 海洋隔離に関するイメージ図

- ## 急性生物影響



- CO<sub>2</sub>急性影響実験データ
- 深海動物プランクトンの無影響濃度を算出
- 深海生物全般の予測無影響濃度を推定





● IPCC第4次報告書 (2007)

- **第一部会: 気候変動の科学的根拠** (1/29-2/1)
  - 人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因とほぼ断定
  - 過去100年に平均気温が0.74°C上昇。最近50年は100年の2倍。
  - 21世紀末の気温上昇は、環境・経済両立社会で約1.8°C (1.1~2.9)、経済重視社会では約4.0°C (2.4~6.4)
  - 大気中のCO<sub>2</sub>濃度上昇で海洋酸性化 (新見解)
- **第二部会: 気候変動の影響評価** (4/1-4/6)
  - 気候変動が自然及び人間環境に及ぼす、既に生じている影響
    - 永久凍土地盤の不安定化、春季現象 (発芽、産卵行動など) の早期化、生息域の高緯度・高地への移動、北極及び南極の生態系変化、湖沼や河川の水温上昇、熱波による死亡、媒介生物による感染症リスク
  - 2050までに、水は高緯度で10~40%増、中緯度で10~30%減
  - 植物及び動物種の約20~30%は気温上昇が1.5~2.5°Cを超えると絶滅のリスク増加
  - 1~3°Cの海面温度上昇で、サンゴの白化が頻発
  - 食料生産は、1~3°Cの上昇では増加、それを超えると減少
  - 2080年までに海面上昇により洪水被害人口が数百万人/年増加。

● **ポスト京都議定書をめぐる最近の動き**

- 欧州は2020年までに90年比平均20%削減 (先進国は30%)、交渉の主導権を握る(3/10)。内、地中隔離で10%。環境税導入検討。自動車のCO<sub>2</sub>は2012年までに95年比35%減義務化。
- イギリスは早期対策が経済的優位を生む (Stern review) として、2050年までに90年比60%削減法案発表 (今秋国会提出)。海底地中隔離の推進。外相が議長となり国連安保理でも初の公開討論実施(4/17)。
- アメリカは議定書枠組不参加。しかし排出削減義務化法案準備中 (株主の圧力で大手企業10社が提言(1/22)、両院議員が法案作成)。ポスト京都に不参加の途上国からの輸入品に負担 (関税) も。最高裁が「自動車からのCO<sub>2</sub>は規制すべき」と判決(4/2)。
- 中国ですら2020年までにGDP原単位当たり2000年比40%削減目標 (但し総量は倍増)。総量規制には今後も強く反対。
- 日本は2008年から12年までの京都議定書約定期間に1996年対比6%削減は困難(?)。植林進まず、排出権依存。排出権とペアとなる規制に産業界が反発。環境省と経産省の合同審議会(4/17)での対立。首相の施政方針演説「環境立国戦略」も策無し状態。
- ブッシュは、主要排出国15カ国の会議を開催し、2008年までに長期的な削減目標を定める計画を表明。欧州は、ブッシュの独自の計画が、国連が進めている気候変動問題への取組を骨抜きにすると懸念。

- **第三部会: 温暖化ガス排出抑制と気候変動緩和策** (5/1-5/4)
  - 全世界の排出量 (490億トン) は70年対比70%増加、無対策であれば2030までに2000年比25-90%増加
  - \$100/t-CO<sub>2</sub>の対策費用で気温上昇は2-2.8°Cに抑制可能、これによる損失は世界GDPの3%未満
  - 既存の対策
    - 原子力、太陽光や風力など再生可能エネルギー、ハイブリッド車やクリーンディーゼル車、照明や冷暖房の効率化
  - 今後期待できる技術
    - 地中隔離、水素燃料電池車、高効率航空機、建築断熱材、バイオ燃料
  - 途上国と先進国で排出責任巡り対立
    - 「先進国が温暖化ガスを排出してきた責任を明記せよ」とのブラジルの主張に中国やインドが同調。
    - 中国は気温上昇を許容するシナリオを盛り込むよう要求
  - 欧州と米国も対立
    - 排出権取引を始めた欧州が有効性主張、米国は経済界への影響を懸念して「特定の対策を推奨する場ではない」と反論。
    - 今回初めて有効性を評価された原子力を巡り、推進派の米国と脱原発の欧州の一部が対立。

● **ハイリゲンダム・サミット (2007年6月)**

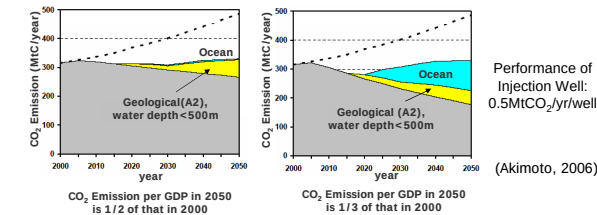
- 日本は、主要排出国の参加する枠組みが必要として、数値目標を優先する欧州の姿勢を批判。
- ブッシュ米大統領は妥協的な態度で臨み、米国には温暖化防止で指導的な役割を果たす用意があり、中国とインドを加えるべき。しかし、京都議定書批准国は、何年も前から厳しい枠組みに参加しており、今さらながらの京都議定書より緩やかな枠組に嘲笑の声。
- 日本と欧州連合 (EU) は5日、共同声明を発表し、2050年までに世界の温室効果ガス排出量を半減することを提案(6/7)。
- 最終的にサミットは、温室効果ガスの排出を2050年までに50%削減することを目指す温暖化防止対策で合意。但し、いつを基準として半減かは明記せず (骨抜き)。
- 国ごとのイニシアブをパッチワークした、緩やかな枠組というアメリカの提案は不満足という国もあるが、緩やかな協力関係を築いた方が、京都議定書の「削減義務」を伴う削減目標よりも、主要排出国を参加させることで気温上昇を実質的に抑制できる可能性があると言う意味で、効果的かも(6/6 FT)。

Why Japan Seeks Ocean Storage  
Potential Storage Amount in Japan

| Categories of Geological Storage          |                                   | Storage Potential      |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Structured Aquifer                        | Core & seismic data measured (A2) | 5.2Gt CO <sub>2</sub>  |
|                                           | Seismic data measured (A3)        | 21.4Gt CO <sub>2</sub> |
| Unstructured Aquifer (water depth < 200m) | Core & seismic data measured (B1) | 27.5Gt CO <sub>2</sub> |
|                                           | Seismic data measured (B2)        | 88.5Gt CO <sub>2</sub> |

(RITE)

Expected CCS Amount : 0.5 - 4.0GtCO<sub>2</sub>/year for 2025-2100 (METI)



● **今後のプロジェクトの進め方**

- 2006年まで (これまでの研究)
  - 希釈のための要素技術開発
  - 急性生物影響モデル
  - 社会へのアピール活動 (シンポジウム、マスコミ)
- 2010年まで (社会的受容のための環境影響評価手法の開発)
  - 生態系長期予測
  - 小規模海洋実験の実施
  - 国際共同研究による科学的理解の促進
- 2015年まで (国際合意を目指した海洋実験の実施)
  - IPCC/CSLFにおける認知
  - モデル海域での長期生物影響モニタリング
  - Moving Ship法の技術開発
- 2020年まで (モデル海域での実証による実用化検討)
  - 環境影響評価指針の作成
  - 低コスト希釈技術の開発
  - London条約の承認